

УДК 621.9.025.7

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВЕЛИЧИНУ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ С ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНОВОЙ

В.П. Табаков, д.т.н., проф., А.В. Рандин, аспирант  
Ульяновский государственный технический университет  
Ульяновск, тел. (8422) 314107, fax (8422) 430323, E – mail: vpt@mf.ulstu.ru

## INFLUENCE OF A CONSTRUCTION OF IONIC - PLASMA FILMS TO MAGNITUDE OF RESIDUAL STRESSES AND ADHESIVE STRENGTH WITH A TOOL BASIS

V.P. Tabakov, Prof., Dr., A.V. Randin, post-graduate student  
Ulyanovsk State Technical University  
Ulyanovsk, ph. (8422) 314107, fax (8422) 430323, E – mail: vpt@mf.ulstu.ru

The constructions of wear-resistant compositions with transition adhesion layers are developed; the results of researches of parameters of structure, mechanical properties of a composition “a film – tool basis” and cutting properties of the tool are given.

В настоящее время широкое применение для повышения работоспособности режущего инструмента (РИ) получил метод нанесения покрытий из плазменной фазы с ионной бомбардировкой (КИБ). Нанесение покрытий КИБ позволяет повысить период стойкости быстрорежущего РИ в 1,5 – 3 раза [1, 2]. Однако, вследствие неизменности химического состава и, как следствие, свойств покрытия в пределах одного слоя, на границе с инструментальной основой происходит резкое изменение физико-механических и теплофизических свойств (в первую очередь модуля упругости и коэффициента термического расширения), приводящее к образованию в покрытии высоких остаточных напряжений. В результате этого снижается прочность сцепления покрытия с основой и, как следствие, уменьшается стойкость РИ.

Снижение уровня остаточных напряжений в покрытии можно обеспечить за счет создания переходных адгезионных слоев (ПАС) между покрытием и инструментальной основой. Так, в работе [1] предложено наносить между покрытием нитрида титана TiN и основой из быстрорежущей стали Р6М5 ПАС на основе чистого титана. Однако наличие в химическом составе ПАС только элемента покрытия не обеспечивает достаточную прочность сцепления покрытия с основой и, соответственно, стойкость РИ.

Авторами статьи высказана рабочая гипотеза, заключающаяся в том, что нанесение ПАС, химический состав которых близок к материалу как покрытия, так и основы, позволит дополнительно снизить остаточные напряжения в покрытии, повысить прочность сцепления его с основой и, тем самым, стойкость РИ.

С целью определения химического состава ПАС, обеспечивающего максимальное снижение остаточных напряжений, были проведены расчеты напряжений в одно-, двух- и трехслойной композициях с ПАС. В качестве ПАС использовали: 1) чистые металлы IV – VI групп периодической системы элементов, применяемые в покрытиях: Ti, Zr, Hf, Cr, Mo, Ta, Nb, V, W, а также чистое железо; 2) твердые растворы титана и тех же

металлов (Ti – Me); 3) твердые растворы нитрида титана и нитридов тех же металлов (Ti, Me)N.

Результаты расчета показали, что наибольшее снижение остаточных напряжений обеспечивают ПАС, в состав которых входят элементы покрытия и железо. Так, для покрытия TiN применение в качестве ПАС чистых титана и железа (Ti – Fe) способствует снижению величины остаточных напряжений в покрытии на 19 %, нитрида (Ti, Fe)N – на 33 %, а их сочетания – на 42 %.

Для проверки полученных расчетных данных были проведены экспериментальные исследования структурных параметров и механических свойств износостойких композиций с ПАС.

В качестве верхнего слоя износостойких композиций использовали нитрид титана TiN и (Ti, Zr)N; ПАС для покрытия TiN наносили на основе титана и железа (Ti – Fe), сложного нитрида титана и железа (Ti, Fe)N, а также их сочетания; для покрытия (Ti, Zr)N – на основе сочетания чистых титана, циркония, железа (Ti – Zr – Fe) и их нитрида (Ti, Zr, Fe)N.

Покрытия наносили на пластины из быстрорежущей стали Р6М5К5 на установке “Булат – 6Т” с использованием катодов, материалы которых включали элементы покрытия и основы; общая толщина износостойкой композиции, включающей в себя основное покрытие и ПАС, изменялась в пределах от 3,5 до 8,0 мкм, толщина ПАС – от 1,5 до 4,5 мкм. Для проведения исследований был выбран симплексно – суммируемый ротатабельный план второго порядка [3], позволяющий найти значения варьируемых факторов, обеспечивающие экстремум параметра оптимизации.

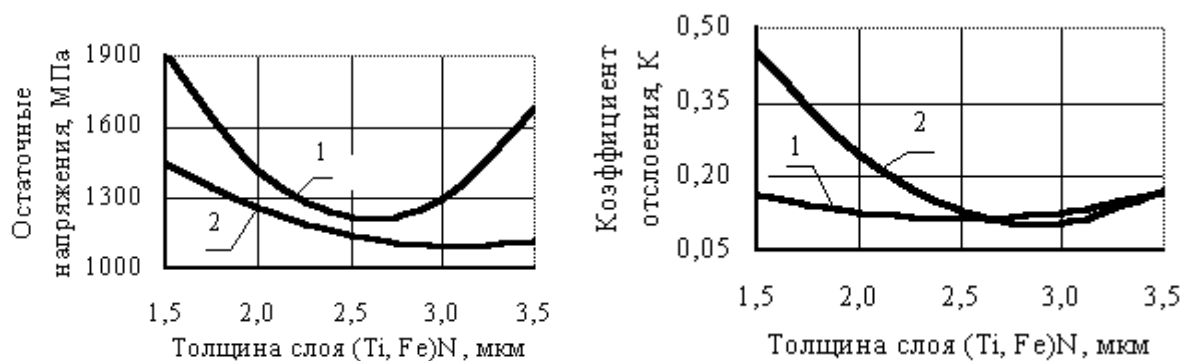
Измерение структурных параметров, микротвердости покрытий и прочности сцепления их с основой проводили по методикам работы [2].

Некоторые результаты экспериментальных исследований представлены в таблице и на рисунке.

#### Результаты экспериментальных исследований

Покрытие	Остаточные напряжения $\sigma_0$ , МПа	Период кристаллической решетки $a$ , Å	Коэффициент отслоения Ко	Микротвердость Нц, ГПа	Интенсивность изнашивания $J \cdot 10^{-4}$ мм/м
TiN	1810			19,57	1,020
(Ti – Fe) + TiN	1555			19,89	0,730
(Ti, Fe)N + TiN	1294			21,08	0,542
(Ti – Fe) + (Ti, Fe)N + TiN	1088			22,19	0,335
(Ti, Zr)N	3870			27,98	0,728
(Ti – Zr – Fe) + (Ti,	2120			28,49	0,539

Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N					
----------------------------	--	--	--	--	--



а) б)

Рисунок. Влияние толщины ПАС (Ti, Fe)N на остаточные напряжения (а) и коэффициент отслоения (б): 1 – композиция (Ti, Fe)N + TiN; 2 – композиция (Ti – Fe) + (Ti, Fe)N + TiN

Установлено, что наличие ПАС практически не изменяет периода кристаллической решетки, ширины рентгеновской линии и микротвердости покрытия, однако значительно снижает остаточные напряжения. При этом величина изменения остаточных напряжений определяется составом ПАС и соотношением толщин ПАС и основного покрытия. Так, для композиции на основе покрытия TiN наибольшее снижение остаточных напряжений имело место в случае использования ПАС на основе сочетания мягкого слоя титана и железа и их нитрида и составило 40 %. Наличие ПАС только на основе нитрида титана и железа уменьшает величину остаточных напряжений на 28 %. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными.

Как видно из таблицы, снижение остаточных напряжений привело к повышению прочности сцепления покрытий с быстрорежущей основой. При этом, как и в случае с остаточными напряжениями, величина снижения коэффициента отслоения также зависит от соотношения толщин ПАС и основного покрытия. Наибольшая прочность сцепления для композиции с покрытием TiN наблюдалась при использовании ПАС на основе чистых титана и железа и их нитрида (снижение коэффициента отслоения составило 60 %).

Аналогичные данные получены для композиции с покрытием (Ti, Zr)N. Как видно из таблицы, наличие ПАС (Ti – Zr – Fe) и (Ti, Zr, Fe)N в трехслойной композиции (Ti – Zr – Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N привело к снижению величины остаточных напряжений в покрытии на 45 % по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N. Коэффициент отслоения для трехслойной композиции (Ti – Zr – Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N уменьшился на 84 % по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N, что свидетельствует о более высокой прочности сцепления с быстрорежущей основой по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N.

Так же, как и в случае с износостойкой композицией на основе покрытия TiN, микротвердость композиции (Ti – Zr – Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N практически не изменяется по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N.

Исследованиями интенсивности износа установлено снижение износа для композиции с ПАС в 1,4 – 3 раза в зависимости от составов ПАС и верхнего слоя покрытия и соотношения их толщин по сравнению с покрытиями, полученными по традиционной технологии.

Таким образом, проведенные исследования показали, что создание между покрытием и инструментальной основой переходного адгезионного слоя, включающего элементы материала как покрытия, так и основы, способствует снижению остаточных напряжений в покрытии и повышению прочности его сцепления с основой, что в конечном итоге приводит к повышению работоспособности быстрорежущего инструмента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.
2. Табаков В.П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана. Ульяновск: УлГТУ, 1998. 124 с
3. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.